植酸酶在饲料中超量添加的研究进展

郝甜甜　杜红方*

（广东溢多利生物科技股份有限公司，珠海 519060）

摘　要：植酸酶作为常规饲料添加剂已经普遍应用于饲料中，用于分解饲料原料中的植酸，释放磷元素，降低用于提供有效磷的磷酸氢钙或其他原料的使用量。随着研究的深入，发现植酸酶的添加量还远远达不到其应有的功效，超量添加植酸酶可以分解超过90%的植酸，还可以提高蛋白质、脂肪、淀粉及矿物质元素的利用率，提高畜禽的生产性能，降低饲料成本，减少环境污染。

关键词：植酸酶；超量添加；潜在营养价值

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

1991年，植酸酶作为商业性饲料添加剂首次引入饲料市场[1]，当时市场前景是1.5亿欧元。之后，植酸酶的添加主要是用来替换一部分无机磷，以减少饲料中磷酸氢钙的添加量，从而有效降低饲料成本。后来，为了满足全球市场对高效降解植酸酶的需要，新一代植酸酶的催化性能和稳定性都得到了显著提高。有学者对植酸酶的添加剂量做了系统性研究，发现植酸酶的超量添加可以将植酸磷释放率提高到90%以上，除降低了磷酸氢钙的使用量外，还能显著提高其他营养物质的利用率，提高畜禽生产性能，从根本上节约饲料成本。目前，植酸酶在饲料中的添加量仍然为500 FTU/kg，但是越来越多的科学家和企业家关注到植酸酶在饲料中超量添加的重要意义。

1　植酸酶的常规应用和“超量添加”的提出

植酸酶可以帮助单胃动物将自身不能水解的植酸降解为肌醇和磷酸根，而植酸磷是植物性磷元素最主要的储存形式，常见的禾谷豆科类等饲料原料中有60%～90%的磷是以植酸磷的形式存在[2]。添加植酸酶后，可以提高畜禽对植酸磷的利用率，减少饲料中磷酸氢钙的添加量，降低饲料配方成本。目前植酸酶的常规使用方法为在畜禽配合饲料中添加500 FTU/kg的植酸酶，可以释放饲料中40%～50%的植酸磷，以此来代替未添加植酸酶饲料中由磷酸氢钙或其他磷来源所提供的0.1%的有效磷，折合磷酸氢钙（磷含量为16%）大约为6.25 kg/t。现在，由于植酸酶价格低廉，且其对提高饲料植酸磷利用率作用明显，并对提高生产效率、节约饲料配方成本及降低环境污染等方面也发挥了重要作用，因此在畜禽饲料中的使用非常普遍，已经成为大部分

收稿日期：2016–08–05

作者简介：郝甜甜（1989–），女，河北邢台人，硕士，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: 1031426997@qq.com

*通信作者：杜红方，高级工程师，E-mail: dhfhbu@sina.com

饲料企业的必备原料。但是，越来越多的研究表明植酸酶的现行添加量大大地被低估，需要大幅度提升，这就提出了植酸酶“超量添加”的概念。

2　植酸酶超量添加的潜在应用价值

超量添加是指在饲料中添加超过常规添加量500 FTU/kg以上的植酸酶的剂量。超量添加植酸酶几乎可以释放出植物性饲料原料中90%以上的植酸磷，从而提高动物生产性能，降低环境污染。韩进诚等[3]研究表明在低磷（非植酸磷为2.1 g/kg）的肉鸡饲粮中超量添加微生物植酸酶（4 000～8 000 FTU/kg），总磷利用率都提高到85%以上，植酸磷释放率达到90%以上，肉鸡的生长性能、血浆和胫骨指标以及粗蛋白质利用率也都有了显著地提高，与磷充足（非植酸磷为4.5 g/kg）对照组无显著差异。Zeng等[4]在生长猪低磷（总磷含量为0.38 g/kg）饲粮中分别添加0、500、1 000、20 000 FTU/kg的植酸酶，植酸的表观消化率从11.1%分别提高到62.8%、70.6%和90.5%。与常规添加量相比，20 000 FTU/kg的添加量显著提高了钙、磷和植酸的表观消化率，回肠中植酸含量也显著降低。Augspurger等[5]、Shirley等[6]和Kies等[7]分别在饲粮中添加10 000、12 000和15 000 FTU/kg的植酸酶，结果显示都可以显著提高植酸的降解率，改善畜禽对其他营养物质的吸收率，提高生长性能和饲料的利用率。

植酸酶的超量添加并不是无限制的超量。韩进诚等[3]研究表明，植酸酶添加量为4 000～8 000 FTU/kg组与磷充足对照组的生长性能及其他生理指标并没有达到显著差异，所以在该试验中植酸酶的最优添加量为4 000 FTU/kg。此外，畜禽种类及饲料配方不同，植酸酶的最佳添加量也不同。Shirley等[6]添加在肉鸡低磷饲粮中添加12 000 FTU/kg植酸酶，植酸的表观消化率提高到83.8%，而Kies等[7]在断奶仔猪饲粮中添加15 000 FTU/kg的植酸酶，植酸的表观消化率提高到94.8%。Augspurger等[8]研究表明植酸酶添加量为1 000 FTU/kg可以释放大约0.2%的植酸磷。Zeng等[4]也揭示了超量添加植酸酶使得粗蛋白质的回肠表观消化率显著提高，干物质、总能、亮氨酸、赖氨酸、苏氨酸、缬氨酸、天冬氨酸和丝氨酸的表观消化率也有显著提高；此外，与高磷和低磷对照组相比，20 000 FTU/kg植酸酶组的粗纤维和中性纤维在后肠利用率也得到了显著改善，且生长猪对矿物质元素钠、锰和锌的利用率也显著提高。

综上，植酸酶的超量添加可提高营养物质利用率，但是植酸酶的最适添加量（超量）还需根据不同畜禽种类做进一步的研究确定，以上研究还表明植酸酶超量添加还远远达不到对畜禽产生负效应的剂量。

3　植酸酶与饲粮营养水平的作用机理和与其他酶制剂的相互作用

植酸酶的现行添加量之所以被大大地低估，其主要原因是对植酸酶与饲粮营养水平的作用机理及与其他饲用酶的互作缺乏全面认识。

3.1　作用机理

虽然上述报道都用试验数据证明了超量添加植酸酶会产生很多有利方面，但是还不能完全

解释植酸酶与饲粮营养水平的作用机理。已知，植酸酶超量添加可以降解超过90%的植酸，还会带来一系列潜在营养效应，以不同方式直接或间接提高畜禽生长性能，现有2种假说来解释这些现象：1）植酸在植酸酶的作用下分解后的一种物质为肌醇，它可以促进畜禽生长性能，这也是为什么植酸酶超量添加对生长性能有显著效果[9-10]。与在肉鸡饲粮中加500 FTU/kg的植酸酶试验组相比，添加1 000或1 500 FTU/kg的试验组中的植酸几乎全部被分解了，同时，在肉鸡胃中也检测到了高含量的肌醇[11]。肌醇可以刺激葡萄糖转运体4型转运到细胞膜[12]，并且会像胰岛素一样对葡萄糖转运、糖异生和蛋白质沉积有促进作用。2）Yu等[13]报告显示植酸会与饲粮中的大豆蛋白和β–酪蛋白结合，降低这些蛋白的利用率，超量添加植酸酶后可以彻底降解植酸，这样就可以释放出更多的营养物质（如氨基酸和矿物质），且已经有报道称在猪饲粮中植酸酶的超量添加提高了钙、镁、锰、锌、铜和铁的利用率[14-15]，就目前试验数据收集结果显示在家禽饲粮中超量添加植酸酶的效果要明显高于在猪饲粮中的效果。下面分别就不同方面的作用机制加以一一论述。

3.1.1 提高饲料效率

植酸酶可以直接或间接提高饲料的利用率。原因：1）当饲粮磷含量充足时植酸酶的作用不明显，而在低磷饲粮中植酸酶提高了饲粮中可利用磷含量，对于生长性能的影响很大。2）植酸会与金属阳离子（如钙、锌和铁）及蛋白质螯合为不溶性的混合物，加入植酸酶之后可以解除这种螯合，提高金属阳离子和蛋白质的消化率，从而提高畜禽的生长性能。3）加入植酸酶后淀粉和脂肪的消化率提高，间接提高了能量利用率。植酸酶可以提高饲料的利用率，在仔猪低磷饲粮中添加植酸酶，饲料利用率提高了3%[16]。

3.1.2 提高氨基酸的利用率

氨基酸是畜禽生长发育过程中至关重要的营养物质，而植酸会与氨基酸发生作用，影响氨基酸的吸收利用。植酸还会直接影响钠离子在肠道中的运输途径，进而影响钠泵的活性，从而影响钠泵依赖型氨基酸的吸收[17]。Ravindran等[18]评估了赖氨酸与植酸酶的相互关系，并用公式来表示二者联系，这个试验的理论基础是：在肉鸡赖氨酸缺乏的基础饲粮中添加植酸酶，可以将赖氨酸从植酸–蛋白复合物中释放出来并提高其生长性能。其他氨基酸的消化率也会不同程度地提高[19-23]。

3.1.3 提高蛋白质的消化率

很多农作物的植酸分子都是球状的[24]，通常储存在富含蛋白质的组织中，比如胚芽或者是糊粉层，而且蛋白质和植酸的溶解性也很相似[25]，所以这些球状体在农作物细胞中通常会与蛋白质螯合成一体，影响蛋白质的消化利用率[26]。

植酸酶可以防止蛋白–植酸螯合物的大规模形成，即使蛋白–植酸螯合物形成之后，再加入植酸酶也可以协同胃蛋白酶以最大效率降解蛋白质（通常胃蛋白酶可以在某种程度上水解部分

的蛋白质，当加入植酸酶后这种水解效率和水解程度会显著提高）。胃蛋白酶只能水解蛋白–植酸沉淀中的小分子蛋白，而这些小分子只有在分子量小于12 ku时才能从蛋白–植酸复合物中释放出来。当植酸酶与胃蛋白酶一起加到蛋白–植酸复合物中时，大分子蛋白就可以自由地从复合物中释放出来，更快地水解成小片段的蛋白分子，比不加植酸酶效率高很多。植酸酶本身是不能水解蛋白质的，所以植酸酶要与胃蛋白酶结合使用才能提高蛋白的利用率。

3.1.4　提高矿物质利用率

在畜禽饲粮中超量添加植酸酶可以显著提高其生产性能，这可能是因为植酸酶添加后产生了大量可利用的矿物质元素[4]。Rimbach等[27]、Kies等[7]都证明了在断奶仔猪饲粮中添加植酸酶可以提高锌、铜和镁的吸收率。钙–植酸在pH大于6后溶解性会大幅度降低，镁盐在高pH条件下也会沉淀出来。也就是说在小肠上段添加20 000 FTU/kg的植酸酶对可溶性植酸（镁–植酸复合物）是很有效果的，镁的利用率和残留量都会显著提高[7]。因此，超量添加20 000 FTU/kg植酸酶与常规添加组（500 FTU/kg）相比确实能够提高矿物质元素的利用率。

3.1.5　提高淀粉、脂肪及能量利用率

淀粉和脂肪酸畜禽体内主要的供能物质，植酸与二者的螯合间接降低了能量利用率。植酸酶可以显著提高高粱–大豆基础饲粮的表观代谢能（从12.8 MJ/kg DM提高到13.1 MJ/kg DM）[28]；而在鸭饲粮中添加植酸酶可以显著提高其代谢能量[29]；超量添加植酸酶可以显著提高低磷饲粮的表观消化率，这不仅是因为提高了蛋白质/氨基酸的利用率（参见上文），还有是因为钙–植酸复合物降低了表观代谢能[30]，钙–植酸复合物在肠道中与脂肪酸形成不溶的油脂，降低了脂肪的消化率[31]，而加入植酸酶后可以降低这些影响；钙–植酸复合物会直接与淀粉结合[32-33]，或者是抑制α–淀粉酶的活性[34-35]，导致淀粉的溶解性和消化性降低。超量添加植酸酶可以将植酸磷从植酸中降解出来，钙–植酸复合物随之解体，释放出脂肪与淀粉，提高表观代谢能。

3.1.6　改善肠道pH及菌群数量

添加植酸酶后可以显著改善肠道pH。Walk等[36]揭示了高剂量的植酸酶（5 000 FTU/kg）可以显著影响胃肠道pH。在32 kg猪饲粮中分别添加250、500、1 000 FTU/kg的植酸酶，猪胃内pH并没有发生变化[37]；同样，42日龄肉鸡胃肠道pH没有变化[38]，21日龄肉鸡回肠pH也没有发生变化[39]。然而，当在53 kg猪饲粮中添加1 000 FTU/kg植酸酶后，显著降低了粪便pH[40]。而高剂量植酸酶是可以影响胃肠道pH环境的，因为高剂量的植酸酶可以直接降解植酸分子，从植酸分子中释放出钙，消除植酸引起的负效应。例如在体外模拟试验中，向玉米–豆粕饲粮中添加植酸后会显著降低胃部pH（从3.5到3.2，约为9%）。总之，植酸会通过螯合作用降低其他营养物质的消化率，增加矿物质元素的排泄，如钠、钙、磷、硫或者钾[41-42]。植酸会降低饲粮电解质平衡，在胃肠道产生更强的酸性环境。Ptak等[43]研究发现低浓度钙和可消化磷可以显著影响嗉囊和盲肠pH，在低磷饲粮中添加植酸酶可以改善回肠pH，显著降低钙和可消化磷的浓度，而植酸

酶的添加也增加了肠道菌群总数；另外，低磷饲粮降低了丁酸盐浓度，提高了乳酸菌的菌群数量。

3.2　植酸酶与其他外源酶制剂的相互作用

酶与酶之间存在互作关系，非淀粉多糖酶（通常为木聚糖酶）与植酸酶可以相互促进，共同提高饲料中蛋白质、能量的利用率及畜禽生长性能。在低能饲粮中单独添加木聚糖酶和植酸酶时氨基酸的表观回肠消化率可以从0.802提高到0.839，提高了4.6%，当2种酶组合使用时（与单独添加相比）可显著提高试验氨基酸的回肠表观消化率（从0.802到0.874，提高了9.0%），赖氨酸、精氨酸、组氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、丙氨酸和甘氨酸的消化率也比单独添加高很多[44]。我们通常认为表观代谢能低是因为畜禽体内有非常高的可溶性非淀粉多糖物质[45]，在肉鸡小麦型为基础的饲粮试验中，研究表明有时一种饲料酶可以促进另一种饲料酶的催化活性，因为植酸与水溶性非淀粉多糖在低能饲粮中可以紧密结合[46]，这就意味着非淀粉多糖酶可以更容易接近植酸酶表面并提高植酸的降解率，在这方面两者作用是互补的。植酸酶与非淀粉多糖酶在低能饲粮中的作用不仅强调了两者之间没有存在负效应，还说明了两者可以同时对2种底物起作用。2种饲料酶通过增加更多的接触机会，进一步降低了植酸和非淀粉多糖的抗营养特性。

外源淀粉酶在饲料应用中受到植酸的抑制，而超量添加植酸酶可以解除这种抑制。在1983年就已经证明，在动物体内α–淀粉酶的活性会受到植酸的抑制[47]。植酸会通过钙离子直接或间接抑制淀粉酶活性（钙为淀粉酶的辅基），植酸也可以通过蛋白质分子与淀粉颗粒直接或间接螯合。通过对高粱淀粉中的磷共价键的研究，发现大量植酸会抑制淀粉分解为葡萄糖–3–磷酸与葡萄糖–6–磷酸[48]，因此，植酸磷应该也可以与淀粉大分子中的葡萄糖直接共价结合，形成淀粉–植酸复合物，降低能量利用率。理论上来说，蛋白质可以与淀粉紧密结合，植酸可以通过蛋白质间接与淀粉螯合，这种相互作用一般是在小肠中（因为小肠中有较高的等电点）由谷类来源的饲粮蛋白质形成，之后植酸与二元复合物螯合形成三元复合物[49]。与不加植酸酶的试验组相比，同时添加淀粉酶和植酸酶的试验组有更高的日增重、更高的淀粉利用率和更高的饲料转化率[10]。进一步说就是外源淀粉酶的酶解作用是具有植酸酶依赖性的。

4　植酸酶在饲料中超量添加的注意事项

以上研究结果表明，在低磷水平的饲料中，超量添加植酸酶会产生更优的效果。这主要原因可能是：植酸酶催化植酸降解为肌醇和磷酸是一个具有反馈抑制的可逆化学反应。当由其他原料所提供的磷元素过多时，会抑制植酸酶所催化的正反应进行，达不到预期的效果。因此，在使用植酸酶时一定要降低其他用于提供磷元素的原料的使用量，但是降低的幅度还需进一步研究。

5　小　结

综上，植酸酶不仅可以减少磷酸氢钙的添加，超量添加植酸酶还可以改善畜禽生长性能，提高饲料效率，提高蛋白质、淀粉、脂肪及矿物质元素的利用率，优化畜禽肠道pH及菌群数量结构，还可以与其他外源酶制剂相互作用，共同促进畜禽生产。但是，目前市场上高剂量的植酸酶并不能收到与试验相似的结果，那是因为超量添加绝不是简单的高酶活添加，畜禽种类不同、饲料配方不同，植酸酶的最适添加量也会发生变化，应具体情况具体分析，不能一概而论，也不是越多越好。另外，现有文献资料中植酸酶的最大添加量为20 000 FTU/kg，是常用添加量的40倍，且没有出现负效应。所以，我们需要更深入研究植酸酶与不同饲料原料、畜禽种类之间的关系，寻找最优的添加量，建立数据库，这样针对不同的饲料配方我们就可以科学合理的制定植酸酶的添加量，降低配方成本。还有，我们需要进一步确认植酸酶与其他外源性单酶间的相互作用，优化复合酶配方，发挥酶制剂最大功效。

参考文献：

[1] HAEFNER S,KNIETSCH A,SCHOLTEN E,et al.Biotechnological production and applications of phytases[J].Applied Microbiology and Biotechnology,2005,68(5):588–597.

[2] GREINER R,LIM B L,CHENG C W,et al.Pathway of phytate dephosphorylation by β-propeller phytases of different origins[J].Canadian Journal of Microbiology,2007,53(4):488–495.

[3] 韩进诚,杨晓丹,杨凤霞,等.微生物植酸酶与1～21日龄肉鸡饲粮无机磷当量模型研究[J].畜牧兽医学报,2008,39(7):907–914.

[4] ZENG Z K,LI Q Y,ZHAO P F,et al.A new *Buttiauxella* phytase continuously hydrolyzes phytate and improves amino acid digestibility and mineral balance in growing pigs fed phosphorous-deficient diet[J].Journal of Animal Science,2016,94(2):629–638.

[5] AUGSPURGER N R,WEBEL D M,LEI X G,et al.Efficacy of an *E. coli* phytase expressed in yeast for releasing phytate-bound phosphorus in young chicks and pigs[J].Journal of Animal Science,2003,81(2):474–483.

[6] SHIRLEY R B,EDWARDS H M,Jr.Graded levels of phytase past industry standards improves broiler performance[J].Poultry Science,2003,82(4):671–680.

[7] KIES A K,KEMME P A,ŠEBEK L B J,et al.Effect of graded doses and a high dose of microbial phytase on the digestibility of various minerals in weaner pigs[J].Journal of Animal Science,2006,84(5):1169–1175.

[8] AUGSPURGER N R,SPENCER J D,WEBEL D M,et al.Pharmacological zinc levels reduce the phosphorus-releasing efficacy of phytase in young pigs and chickens[J].Journal of Animal Science,2004,82(6):1732–1739.

[9] COWIESON A J,PTAK A,MAĆKOWIAK P,et al.The effect of microbial phytase and *myo*-inositol on performance and blood biochemistry of broiler chickens fed wheat/corn-based diets[J].Poultry Science,2013,92(8):2124–2134.

[10] STEFANELLO C,VIEIRA S L,SANTIAGO G O,et al.Starch digestibility,energy utilization,and growth performance of broilers fed corn-soybean basal diets supplemented with enzymes[J].Poultry Science,2015,94(10):2472–2479.

[11] WALK C L,SANTOS T T,BEDFORD M R.Influence of superdoses of a novel microbial phytase on growth performance,tibia ash,and gizzard phytate and inositol in young broilers[J].Poultry Science,2014,93(5):1172–1177.

[12] YAMASHITA Y,YAMAOKA M,HASUNUMA T,et al.Detection of orally administered inositol stereoisomers in mouse blood plasma and their effects on translocation of glucose transporter 4 in skeletal muscle cells[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2013,61(20):4850–4854.

[13] YU S K,KVIDTGAARD M F,ISAKSEN M F,et al.Characterization of a mutant *Buttiauxella* phytase using phytic acid and phytic acid-protein complex as substrates[J].Animal Science Letters,2014,1(1):18–32.

[14] ADEOLA O,LAWRENCE B V,SUTTON A L,et al.Phytase-induced changes in mineral utilization in zinc-supplemented diets for pigs[J].Journal of Animal Science,1995,73(11):3384–3391.

[15] ALMEIDA F N,SULABO R C,STEIN H H.Effects of a novel bacterial phytase expressed in *Aspergillus Oryzae* on digestibility of calcium and phosphorus in diets fed to weanling or growing pigs[J].Journal of Animal Science and Biotechnology,2013,4(1):8.

[16] KIES A K,GERRITS W J J,SCHRAMA J W,et al.Mineral absorption and excretion as affected by microbial phytase,and their effect on energy metabolism in young piglets[J].The Journal of Nutrition,2005,135(5):1131–1138.

[17] SELLE P H,COWIESON A J,COWIESON N P,et al.Protein-phytate interactions in pig and poultry nutrition:a reappraisal[J].Nutrition Research Reviews,2012,25(1):1–17.

[18] RAVINDRAN V,SELLE P H,RAVINDRAN G,et al.Microbial phytase improves performance,apparent metabolizable energy,and ileal amino acid digestibility of broilers fed a lysine-deficient diet[J].Poultry Science,2001,80(3):338–344.

[19] SEBASTIAN S,TOUCHBURN S P,CHAVEZ E R,et al.Efficacy of supplemental microbial phytase at different dietary calcium levels on growth performance and mineral utilization of broiler chickens[J].Poultry Science,1996,75(12):1516–1523.

[20] YI Z,KORNEGAY E T,DENBOW D M.Effect of microbial phytase on nitrogen and amino acid digestibility and nitrogen retention of turkey poults fed corn-soybean meal diets[J].Poultry Science,1996,75(8):979–990.

[21] SEBASTIAN S,TOUCHBURN S P,CHAVEZ E R,et al.Apparent digestibility of protein and amino acids in broiler chickens fed a corn-soybean diet supplemented with microbial phytase[J].Poultry Science,1997,76(12):1760–1769.

[22] NAMKUNG H,LEESON S.Effect of phytase enzyme on dietary nitrogen-corrected apparent metabolizable energy and the ileal digestibility of nitrogen and amino acids in broiler

chicks[J].Poultry Science,1999,78(9):1317–1319.

[23] SELLE P H,RAVINDRAN V,CALDWELL A,et al.Phytate and phytase:consequences for protein utilisation[J].Nutrition Research Reviews,2000,13(2):255–278.

[24] KIES A K,DE JONGE L H,KEMME P A,et al.Interaction between protein,phytate,and microbial phytase.*In vitro* studies[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2006,54(5):1753–1758.

[25] ABELSON P H.A potential phosphorus crisis[J].Science,1999,283(5410):2015.

[26] FONTAINE T D,PONS W A,Jr.,IRVING G W,Jr.Protein-phytic acid relationship in peanuts and cottonseed[J].The Journal of Biological Chemistry,1946,164(2):487–507.

[27] RIMBACH G,PALLAUF J.The effect of a supplement of microbial phytase on zinc availability[J].Zeitschrift Fur Ernahrungswissenschaft,1992,31(4):269–277.

[28] FARRELL D J,MARTIN E,PREEZ J J D,et al.The beneficial effects of a microbial feed phytase in diets of broiler chickens and ducklings[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,1993,69(1/2/3/4/5):278–283.

[29] FARRELL D J,MARTIN E A.Strategies to improve the nutritive value of rice bran in poultry diets.Ⅲ.The addition of inorganic phosphorus and a phytase to duck diets[J].British Poultry Science,1998,39(5):601–611.

[30] RAVINDRAN V,CABAHUG S,RAVINDRAN G,et al.Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers[J].Poultry Science,1999,78(5):699–706.

[31] LEESON S.Recent advances in fat utilization by poultry[M]//FARREL D J.Recent advances in animal nutrition in Australia.Armidale:University of New England,1993:170–181.

[32] THOMPSON L U,YOON J H.Starch digestibility as affected by polyphenols and phytic acid[J].Journal of Food Science,1984,49(4):1228–1229.

[33] THOMPSON L U.Antinutrients and blood glucose[J].Food Technology,1988,42(4):123–131.

[34] SHARMA C B,GOEL M,IRSHAD M.Myoinositol hexaphosphate as a potential inhibitor of α-amylases[J].Phytochemistry,1978,17(2):201–204.

[35] DESHPANDE S S,CHERYAN M.Effects of phytic acid,divalent cations,and their interactions on α-amylase activity[J].Journal of Food Science,1984,49(2):516–519.

[36] WALK C L,BEDFORD M R,MCELROY A P.Influence of limestone and phytase on broiler performance,gastrointestinal pH,and apparent ileal nutrient digestibility[J].Poultry Science,2012,91(6):1371–1378.

[37] RADCLIFFE J S,ZHANG Z,KORNEGAY E T.The effects of microbial phytase,citric acid,and their interaction in a corn-soybean meal-based diet for weanling pigs[J].Journal of Animal Science,1998,76(7):1880–1886.

[38] NOURMOHAMMADI R,HOSSEINI S M,SARAEE H,et al.Plasma thyroid hormone concentrations and pH values of some GI-tract segments of broilers fed on different dietary citric acid and microbial phytase levels[J].American Journal of Animal and Veterinary Sciences,2011,6(1):1–6.

[39] AKYUREK H,OZDUVEN M L,OKUR A A,et al.The effects of supplementing an organic acid blend and/or microbial phytase to a corn-soybean based diet fed to broiler chickens[J].African Journal of Agricultural Research,2011,6(3):642–649.

[40] METZLER B U,MOSENTHIN R,BAUMGÄRTEL T,et al.The effect of dietary phosphorus and calcium level,phytase supplementation,and ileal infusion of pectin on the chemical composition and carbohydrase activity of fecal bacteria and the level of microbial metabolites in the gastrointestinal tract of pigs[J].Journal of Animal Science,2008,86(7):1544–1555.

[41] COWIESON A J,ACAMOVIC T,BEDFORD M R.The effects of phytase and phytic acid on the loss of endogenous amino acids and minerals from broiler chickens[J].British Poultry Science,2004,45(1):101–108.

[42] WOYENGO T A,DICKSON T,SANDS J S,et al.Nutrient digestibility in finishing pigs fed phytase-supplemented barley-based diets containing soybean meal or canola meal as a protein source[J].Archives of Animal Nutrition,2009,63(2):137–148.

[43] PTAK A,BEDFORD M R,ŚWIĄTKIEWICZ S,et al.Phytase modulates ileal microbiota and enhances growth performance of the broiler chickens[J].PLoS One,2015,10(3):e0119770.

[44] RAVINDRAN V,SELLE P H,BRYDEN W L.Effects of phytase supplementation,individually and in combination,with glycanase,on the nutritive value of wheat and barley[J].Poultry Science,1999,78(11):1588–1595.

[45] CHOCT M,HUGHES R J,TRIMBLE R P,et al.Non-starch polysaccharide-degrading enzymes increase the performance of broiler chickens fed wheat of low apparent metabolizable energy[J].The Journal of Nutrition,1995,125(3):485–492.

[46] FRØLICH W.Chelating properties of dietary fiber and phytate.The role for mineral availability[M]//FURDA I,BRINE C J.New developments in dietary fiber.New York:Springer,1990:83–93.

[47] YOON J H,THOMPSON L U,JENKINS D J.The effect of phytic acid on *in vitro* rate of starch digestibility and blood glucose response[J].The American Journal of Clinical Nutrition,1983,38(6):835–842.

[48] BLENNOW A,BAY-SMIDT A M,OLSEN C E,et al.The distribution of covalently bound phosphate in the starch granule in relation to starch crystallinity[J].International Journal of Biological Macromolecules,2000,27(3):211–218.

[49] MCBURNEY M I,THOMPSON L U,CUFF D J,et al.Comparison of ileal effluents,dietary fibers,and whole foods in predicting the physiological importance of colonic fermentation[J].The American Journal of Gastroenterology,1988,83(5):536–540.

Research Progress in Excess Addition of Phytase in Feeds

HAO Tiantian　DU Hongfang*

(*Guangdong VTR Bio-Tech. Co. Ltd.*, *Zhuhai* 519060, *China*)

Abstract: As a conventional feed additive, phytase is mainly used for the degradation of phytate in feeds and releasing of phosphorus to reduce the phosphorus from calcium hydrogen phosphate or other phosphorus sources, and has been widely applied to feed industry. Along with the further researches, it was found that the addition amount of phytase was far less than displaying the best effect. Excess phytase can degrade more than 90% phytate, also improve the utilization of protein, fat, starch and mineral elements as well as growth performance of livestock and poultry, and reduce feed costs and environmental pollution.

Key words: phytase; excess addition; potential nutritional value

i

---

*Corresponding author, senior engineer, E-mail: dhfhbu@sina.com　　（责任编辑　田艳明）